

交通部西部交通建设科技项目 (2003-318-799-56)

公路边坡治理措施及

GONGLU BIANPO ZHILI CUOSHI JI ANQUAN PINGJIA FANGFA

安全评价方法

张从明 李国锋 等著



人民交通出版社
China Communications Press

交通部西部交通建设科技项目(2003-318-799-56)

Gonglu Bianpo Zhili Cuoshi
公路边坡治理措施
ji Anquan Pingjia Fangfa
及安全评价方法

张从明 李国锋 等著

人民交通出版社

内 容 提 要

公路边坡地质病害,已严重危及人类生命、财产安全。因此成为国内外十分关注的问题。本书在广泛吸取国内外边坡病害治理研究成果的基础上,以云南元磨高速公路为依托,以创新方式,首次系统的论述了边坡病害类型,详细地阐述了边坡病害评价标准、评价方法,及治理技术与其适宜性,书中附有各种类型边坡病害的治理实例和治理效果评述。

本书是一部实用科技图书,书中所述内容,经过实践检验后,已获得满意的效果,可供从事公路、铁路、水利工程设计、施工技术人员直接借鉴和参考,也是相关专业院校师生不可多得的一部科技参考书。

图书在版编目(CIP)数据

公路边坡治理措施及安全评价方法/张从明等著. —北京:人民交通出版社,2009. 8

ISBN 978-7-114-07871-2

I. 公… II. 张… III. 公路路基—边坡—公路养护
IV. U418.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 123532 号

书 名:公路边坡治理措施及安全评价方法

著 作 者:张从明 李国锋 等

责任编辑:刘永芬

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757969,59757973

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:13.25

字 数:320 千

版 次:2009 年 8 月第 1 版

印 次:2009 年 8 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-07871-2

定 价:35.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

交通部西部交通建设科技项目(2003-318-799-56)

元磨高速公路边坡病害群治理工程 效果评价及应对措施研究

参 加 单 位

研究项目主持单位:云南元磨高速公路建设指挥部

参加研究单位:中国铁道科学研究院

云南省公路规划勘察设计院

西南交通大学

清华大学

解放军后勤工程学院

云南大学

参加研究人员:张从明 张玉芳 李国锋 张发春

郑颖人 胡厚田 王恩治 何 刚

罗绍建 房 锐 王春生 高荣冠

赵尚毅 赵志明 温庆博 陈 华

和 昆 徐千军 李正垣 陈卫兵

陈云平 刘宝奎 王 荣

前言

QIAN YAN

前
言

自然界中,山体处于相对平衡状态。但是,一些山体由于岩石结构不同,或位于地壳褶皱位置不同,或因坡体岩石遭到长期风化作用变得松散而土化,在遇到雨水或地下水的作用,或受到地震的影响,于是产生滑坡、崩塌、坍塌、错落等病害。

随着人类社会的发展,大量修建公路、铁路、水库,以及大规模的科学试验,也使处于平衡状态的山体发生病害。仅三峡库区已治理的滑坡达 1 642 处,穿越秦岭的宝成铁路在 300 多公里路段上曾发生过多起、大规模的山体滑坡,导致铁路运输多次中断。山体病害发生,不仅堵塞、破坏交通,而且严重危及人们生命安全,并造成大量的经济损失,已引起国内外社会广泛关注。为此,国际上专门成立了研究滑坡及其防治的国际组织,国内外一些研究机构、学者、专家也相继对其进行了深入研究。

当今时代,我国国民经济迅速发展,高速公路建设已进入山区。山体受到切割,深路堑高边坡不断涌现,使一些处于极限平衡状态的山体不断发生滑塌,严重地影响到公路稳定,威胁着车辆安全行驶。以云南元磨高速公路为例,全长 147km 路段上,就集中了 371 处高边坡,平均每公里 2.5 处,有多处路段滑坡成群。仅在施工期间,就有 182 处发生了滑坡病害,为治理其病害花费约 8 亿元,占总投资的 10%。

元磨公路建设者,为保证日后公路安全运营,面对众多滑坡病害,以科学发展观为指针,走公路建设可持续发展道路,展开了对高边坡病害治理研究。该研究会聚了国内许多研究机构、院校、专家、学者和从事设计、施工等方面的人才,采用先进的科学技术和监测设备,密切结合元磨公路的工程实际,对滑坡病害开展了全面、系统地研究,不仅对岩体结构、边坡稳定,分门别类地进行细化研究、测试,还密切结合边坡病害治理措施进行模拟分析、室内试验、现场监测滑坡的动态。经过几年的努力,先后获得以下研究成果。

首次对元磨公路红层边坡岩体进行分类,建立了一套完整的边坡病害治理工程效果评价标准体系、边坡稳定性评价标准、边坡病害治理工程适宜性、整体技术状况、治理工程安全等级评价标准,治理工程危险状况预警标准,交通管制和人员安全管制的分级标准,全面系统地推出了预应力锚索框架、预应力锚索抗滑桩、锚杆框架、重力式抗滑挡土墙等治理工程效果评价的定性、定量和半定量的评价方法,以及整体综合评价方法。与之相应的提出了一套行之有效的应急抢险和加固、补强的工程措施和方法,用以指导元磨公路高边坡病害治理施工。同时,使用上述研究成果,应用于省内外其他公路实践检验,都获得了满意的结果。

本书系根据交通部西部交通建设科技项目(2003-318-799-56)云南元磨高速公路边坡病害群治理工程效果评价及应对措施研究报告,吸取其他研究成果,参考国内外大量有关文献

· 2 · 编写而成。在项目研究中,郑颖人院士全程参与了研究,王思敬院士进行了的指导。在本书编写过程中,得到了云南元磨高速公路建设指挥部、中国铁道科学研究院、云南省公路规划勘察设计院、西南交通大学、清华大学、解放军后勤工程学院、云南大学等多家单位的大力支持,王思敬院士、郑颖人院士、张玉芳、张发春、胡厚田、王恩治、何刚、罗绍建、房锐、王春生、高荣冠、赵尚毅、赵志明等均对本书的编写作出了重要贡献,在此一并表示衷心感谢。

公路高边坡病害治理措施,是目前工程建设中面临的一个严峻的问题,笔者编撰本书的目的,在于与同行进行广泛的技术交流,并希望通过实践使公路边坡病害治理研究成果进一步得到检验、完善、改进和提高,努力为我国山区公路建设添砖加瓦,贡献我们所能及的力量。

由于笔者水平所限,绠短汲深,加之时间仓促,书中可能会存在不少问题,恳请广大读者纠偏补正,补苴罅漏,以使本书日臻完善。

作者

2009年5月

目 录

MU LU

第一章 绪论	1
第二章 公路边坡岩体结构和破坏模式	8
第一节 边坡崩塌病害	8
第二节 边坡滑坡病害	11
第三节 边坡错落病害	17
第四节 边坡坍塌病害	18
第五节 不同岩性边坡及特征	20
第三章 公路边坡病害治理措施	53
第一节 边坡病害治理措施分类	53
第二节 公路边坡病害治理及典型病害工点分析	63
第四章 边坡病害治理效果评价标准	83
第一节 边坡治理效果评价体系建立	83
第二节 边坡稳定性分级	84
第三节 边坡病害治理适宜性分级标准	86
第四节 治理措施技术状况(缺损状况)评定标准	87
第五节 边坡病害治理措施安全评价及报警标准	90
第六节 交通和人员安全管制分级标准	91
第七节 边坡病害治理检查与整治工程措施评价等级	92
第五章 边坡病害治理安全评价方法	96
第一节 边坡治理措施病害评价工作流程	96
第二节 边坡治理措施病害分析	98
第三节 边坡病害治理措施适宜性评价	108
第四节 边坡治理措施缺损病害评价	117
第六章 边坡治理措施加固方法	145
第一节 治理措施病害整治措施	145
第二节 预应力锚索框架缺损病害加固技术	145
第三节 预应力锚索抗滑桩缺损病害加固技术	150
第四节 锚杆框架缺损病害整治技术	155

第五节 抗滑桩缺损病害整治技术.....	156
第六节 抗滑挡土墙缺损病害整治技术.....	160
第七节 元磨公路边坡病害群治理效果.....	163
附录一 元磨高速公路边坡岩体类型及破坏模式.....	185
附录二 本书出现的地质年代、地层单位及第四纪地层成因类型符号	199
参考文献.....	201

第一章 绪 论

由于地壳运动,使地面上形成许多高低不同的山体,它们在重力作用下,有的处于稳定状态,也有许许多多山体处于极不稳定状态。而这些处于不稳定状态的山体,一旦受到地下水、雨水渗透作用,强度变低,或受到其他外力作用,极易发生滑坍,严重的危及人们的生命安全,给社会造成极大的经济损失。2008年5月12日,四川汶川大地震引发的山体崩塌滑坡,数以万计的生命被吞噬,令世人触目惊心,在当今人们的脑海中,留下永久的创伤。

不稳定的山体,除去受到自然因素影响外,还有人类活动的影响,这也是诱发不稳定山体发生病害不可忽视的因素,譬如:修建铁路、公路、建设水库等工程,由此导致的山体崩塌、滑坡病害屡见不鲜。

一、公(铁)路崩塌滑坡病害

伴随着科技进步,火车、汽车诞生,铁路、公路应运而生,无论国外还是国内,在修建公路和铁路工程中,往往因工程需要时常切割山体或穿越山体,再加上自然因素的共同作用,导致山体崩塌滑坡事故不胜枚举。

1. 铁路崩塌滑坡病害实例

1956年7月1日,建成通车的宝成铁路,曾遭遇到一场大雨冲蚀,导致宝鸡—略阳和略阳—广元之间300多公里内出现很多大滑坡、大坍塌,使全线断道,重新进行整治长达1年多,耗资2亿多元。1981年宝成铁路又遭受到百年一遇的暴雨和洪水袭击,再次发生大规模崩塌、滑坡、坍塌、河岸冲刷等路基病害,再次中断行车,为整治其病害耗资3亿多元。

1997年7月,南昆铁路八渡发生大滑坡,坡体达500多万方,直接威胁八渡车站的安全,对其整治花费了9000多万元。

2. 高速公路滑坡病害实例

20世纪90年代,我国公路建设突飞猛进发展,高速公路进入山区。与铁路一样,公路上也出现了大量路基病害。例如:京珠高速公路粤境北段(小塘—甘塘),全长109.0km,高于30m的边坡和有潜在病害的工点85处,其中稳定和基本稳定的37处,不稳定的48处,治理边坡病害费用约5亿多元,占工程总投资12%。

广东梅州—龙川高速公路,全长118km,高于30m的边坡110处,为整治边坡病害花费3亿多元,占公路总投资6%;重庆万州—梁平高速公路,全长67km,有边坡病害80多处,治理边坡病害耗资达2亿多元;云南省保山—龙陵高速公路,全长74km,高于30m的边坡120处,老滑坡47处,治理边坡病害总投资4亿元,占总投资经费的8%,其中一处老滑坡治理费高达4000万元;水富—麻柳湾高速公路,全长136km,高于30m高边坡约78处,老滑坡12处,治理高边坡和边坡病害费用约8亿元,占总投资92亿元的8.5%。特别是元江—磨黑高速公路,全长147km,高于30m的高边坡371处,高于50m的边坡232处,高于100m

的边坡 49 处,最高的边坡达 197m,仅在施工期间就发生边坡病害 182 处。治理边坡病害花费约 8 亿元占总投资的 10%。

3. 边坡病害治理与评价问题

对边坡病害治理,先后采用了许多工程措施,例如抗滑桩、抗滑挡土墙、锚索框架、锚杆框架、锚索抗滑桩、排水措施、护坡工程等。但是,对边坡病害治理工程效果如何评价?评价的标准如何确定?一直是工程界没有解决的问题。

以云南元磨高速公路为例,该路已于 2003 年末通车,施工期间对沿线 300 多处高边坡进行了治理,其工程效果怎么样?用什么方法对边坡治理的效果进行评价?评价的标准是什么?一旦出现安全问题又怎样采取应对措施?这也是公路部门多年来一直没有解决的问题,也是国内外多年来一直没有解决的问题。

为了解决这一问题,原交通部在 2004 年底决定开展《云南省元磨高速公路边坡病害群治理工程效果评价及应对措施研究》,以期通过科学研究,进行经验总结,寻求出对高边坡科学的评价方法和应采取的应对措施。

二、边坡病害模式

山体崩塌滑坡是一种地质自然现象。随着人类社会工业化到来,大规模的土木工程建设兴起,山体受到切割,人工边坡频频出现,从而诱发出了大量崩塌滑坡灾害。20 世纪 60 年代,世界上曾发生过几起灾难性的边坡失稳事件,例如:意大利的瓦依昂大滑坡,造成近 3 千人死亡。为了避免或减少这种地质病害给人类造成的灾难,无论国内外,人们都开始了对滑坡的研究。随着研究深入发展,人们对滑坡地质病害认识也逐渐深化,相继分析了多种边坡破坏模式,从不同角度提出了研究的方法和理论,也出版了不少高文典作。

1. 边坡破坏模式

通过总结前人积累的经验和大量的现场调查研究,一些专家、学者先后研究出了关于斜坡变形模式和破坏方式的一般规律,即六种变形模式和三种破坏方式,得到了普遍认同,并被广泛地推广和应用。

(1) 斜(边)坡变形六种模式

斜坡变形模式:①蠕滑—拉裂;②滑移—压致拉裂;③滑移—拉裂;④弯曲—拉裂;⑤塑流—拉裂;⑥滑移—弯曲。

(2) 斜(边)坡破坏三种方式

①崩落(塌);②滑落(坡);③(侧向)扩离。

2. 国际社会对边坡病害的关注和重视

20 世纪 80 年代,斜坡病害所引起的灾难,引起国际社会广泛关注和重视,人们对斜坡稳定性研究,又进入了一个新的阶段。1986 年,在举行国际地质会议期间,正式成立了国际工程地质协会(IAEG),同时也成立了“滑坡及其他块体运动委员会”,这是国际上第一个专门研究滑坡及其防治的国际组织。还有国际岩石力学与工程学会(ISRM)、国际岩土力学与基础工程学会(ISSMFE)、国际大坝委员会(ICOLD)等组织,均将边坡工程作为重要的专题进行学术交流和探讨。在促进边坡工程研究方面,这些国际组织都起到了重要作用。

3. 我国治理斜(边)坡病害研究工作的进展

随着我国国民经济快速发展,大规模工程建设的开展,边坡稳定问题越来越突出,因此在工程勘察、设计过程中,特别重视了边坡稳定问题。在科学研究领域里,有关边坡稳定问题也纳入重要研究课题。1981至1986年间,原地质矿产部将“中国西南、西北崩滑灾害与斜坡稳定性研究”列为重点专题进行攻关。1986至1990年间,三峡工程将库岸稳定性列为专题进行研究。在这一时期,在系统科学方法论的指导下,对边坡岩体的赋存环境、坡体结构、内部应力状态、变形破坏机制、影响稳定性的因素等方面都进行了系统研究,形成了较为系统的边坡稳定性研究思路;边坡变形破坏的地质模式又得到了进一步的补充和完善。针对不同的地质模式,进一步提出了一些相应的稳定性计算方法,数值和物理模拟手段也引入边坡研究,借助有限元法、离散元法、地质力学模型试验等,再现边坡变形破坏的全过程。从整体上、内部作用机理等方面,对边坡进行全面的认识和评价。利用统计热力学理论、灰色系统理论、数量化理论、概率论与数理统计等,探索了边坡稳定性的预测预报方法。可以说,这一阶段使边坡科学发展进入了高峰期。

4. 边坡病害研究发展方向

在“八五”和“九五”期间,国家专门立项开展了工程边坡稳定性及其加固配套技术的研究。例如:原水利电力部的“岩质高边坡稳定及处理技术”被列为国家重点攻关项目;国家自然科学基金委员会和中国长江三峡工程开发总公司专门将“三峡船闸高边坡的变形与稳定”列为重大项目进行资助研究。同时,非线性科学理论、非连续介质理论、可靠性分析理论以及计算机技术的发展,为边坡稳定性问题的研究提供了新的途径和方法,多学科、多专业的交叉渗透研究,已成为边坡研究的发展方向。可靠性分析理论、模糊数学、块体理论、灰色系统理论、神经网络理论、分形理论、突变理论、自组织理论以及各种复杂的数值计算方法已广泛地应用于边坡研究中。边坡稳定性研究步入了定性定量相结合、概念模型与仿真模拟相结合、监测与反馈分析相结合的新阶段,取得了大量有意义的成果。

三、边坡分类及其病害治理研究

分析,是科学研究的重要手段。往往一个复杂的问题,总是分解成若干简单的组成部分,然后,从中找出各组成部分的本质,探索出它们之间的相互关系。同样,影响边坡稳定的因素也是相当复杂的,诸如边坡的成因、结构、岩性、质量、变形破坏模式、风化程度、施工方法等,加上研究时针对解决的问题,使用的研究的方法和手段等不同,对边坡稳定的分类、评价也多种多样,在此,笔者将其主要方法简要概括如下。

1. 边坡分类及其方法

(1) 按岩石质量不同对边坡分类

按岩石质量不同分类法,国内外代表性的方法有:

- ①RMR-SMR法(Romana,1985),已广泛用于地下工程围岩质量评价。
- ②CSMR法(中国水利水电边坡工程登记小组,1997)。

CSMR分类体系是对RMR-SMR系统的一种应用,是由中国水利水电边坡工程登记小组于1997年发展起来的分类体系。它是在RMR-SMR体系的基础上,引入高度修正系数和结构面修正系数,提出的一种用于边坡岩体质量的评价方法。

(2)按边坡成因分类

按边坡的成因不同,一些学者把边坡分为:剥蚀边坡、侵蚀边坡、滑塌边坡和人为边坡。

(3)按照边坡结构分类

按照边坡的结构不同,有些学者把边坡分为:层状结构边坡、块状结构边坡、网状结构边坡。

(4)按岩性不同分类

按岩性不同,有些学者把边坡分为:岩石边坡、黄土边坡、砂土边坡和土石混合边坡,或者土质边坡和岩质边坡(瓦恩斯滑坡分类)。

(5)按边坡破坏形式分类

按照边坡变形破坏形式不同,有的学者根据变形特征进行分类;有的根据变形速度进行分类;有的根据变形发育阶段进行分类。例如,瓦恩斯(D. Vames, 1978)按运动方式将斜坡分为:崩落、倾倒、滑动、侧向扩离和流动等五种基本类型。张悼元等学者又根据斜坡的最终破坏形式,将其归并为崩落(塌)、滑落(坡)和(侧向)扩离三种基本类型。我国铁道部门把边坡变形类型分为:滑坡、崩塌、岩堆、错落、坠石、剥落、蠕动、坡面泥石流等。

(6)其他分类方法

①以组成滑坡的物质、滑坡厚度不同,并结合滑坡的性质和特点进行详细分类。对崩塌、泥石流等变形边坡,也有相应的细部分类。

②美国夏普(C. F. S. Sharp)等学者,把边坡岩土体顺坡向下的一切运动统称为滑坡,然后再按岩体的移动方式、相对速度以及物质组成,将其分类为:缓慢流动类、快速流动类、滑动类和沉陷类等4大类12小类。

③捷克的扎留巴(Q. Za. ruba)则按物质类别、滑面性状和移动类型,将边坡变形分为:地表堆积物斜坡移动、泥质岩滑坡、坚硬岩层斜坡移动及特殊类型斜坡移动等4大类13小类。

④日本的渡正亮,则按滑坡的发展阶段将滑坡分为幼年期、青年期、壮年期和老年期。

⑤在层状岩质边坡分类研究方面

王思敬学者将层状岩体结构类型划分为三类,即薄层结构、夹层结构和互层结构。此外还有许多学者从不同角度,对边坡进行分类,此不再一一列举。

2. 边坡治理效果评价研究现状

目前,对边坡工程的治理,多是对支挡结构进行受力分析,并按照现行的行业规范进行竣工验收,而对治理措施在日后运营效果表现如何?是否达到了预期的目的,对其治理效果怎样评价?仍是采用稳定性分析的方法,对边坡安全系数进行再计算,或根据某些监测数据进行效果评价,尚没有统一的标准和评价体系,在国内外见到的报道也很少。

(1)三峡库区高切边坡防护评价方法

三峡库区对已治理的1642处高切坡进行了调查,并进行了评估,其评估所涉及的内容包括:

①项目信息与资料核对:包括高切坡几何参数、高切坡项目参建单位及工程建设情况,对不安全或局部不安全的高切坡项目,在现场核对其存在安全隐患区域的影响程度。

②工程地质条件调查、岩土体介质类型、变质破坏现象等基本信息。

③防护工程方案合理性和有效性评估。

④工程质量查验。

⑤高切坡与防护工程变形破坏情况调查。

⑥边坡管理与维护情况调查。

⑦防护工程现状安全性评估。

三峡库区通过以上七个方面的调查、研究、分析,从定性的角度上把边坡划分为安全、基本安全、局部不安全、不安全四个等级,并进行定性的评价,其评价标准见表 1-1。

三峡库区高切坡防护工程安全性评估判定标准

表 1-1

防护效果	坡面与防护工程破坏程度	防护方案合理性	施工质量	完工时间	边坡管理维护情况
安全	边坡防护结构均无变形破坏迹象	防护措施符合边坡地质条件,针对性较强	施工质量好	竣工 3 年以上	工后维护管理良好
基本安全	防护结构主体无变形破坏迹象		无明显施工质量问题	已完工	有一定缺陷,整改后不影响边坡稳定性
局部不安全	边坡或防护工程结构局部出现显著位移、变形、破坏现象,但不至于影响边坡整体稳定性	防护措施设计对边坡地质条件考虑不足,部分治理措施不合理	存在施工质量问题		维护管理有违规之处,对边坡局部安全性有直接影响
不安全	边坡或防护工程结构出现明显变形、位移,或结构破坏现象,可能影响到边坡整体稳定性	对地质条件认识有偏差,防护工程措施不合理,治理效果差	存在较严重施工质量问题		维护管理有重要问题,直接影响到防护措施的有效性和边坡的整体稳定

(2)其他滑坡防护评价研究方法

目前,有关学者对滑坡防护评价,使用现代系统论,正在从不同的角度,对滑坡防护进行评价研究,其方法归纳如下:

①传统滑坡勘察地质理论、抗滑结构设计理论与现代系统理论、灰色理论、模糊数学理论相结合,从滑坡工程地质观点出发,探讨滑坡防治工程效果后评价内容、原则和标准。

②从滑坡防治后评价角度着手,通过分析大量已整治过的滑坡资料,系统研究了对滑坡性质认识、滑带土强度参数选择、滑坡推力计算和抗滑结构设计计算方法,并对其合理性进行分析,提出了工程效果的地质评价法与工程评价法。以川藏公路二郎山 K2730 段 1 号滑坡整治工程效果评价为例,重点对成昆铁路沙北 1 号滑坡、甘洛 2 号滑坡等大中型复杂滑坡整治工程结构的受力、位移进行长期监测,提出滑坡推力实测比 R_t 来评价结构抗滑效果;同时,依据结构位移变化提出抗滑桩桩顶水平位移灰色预测模型 $GM(1,1)$,结合临界位移速率开展了抗滑结构稳定的时间预测。通过接触单元有限元计算,探讨了不同工况下抗滑桩的工程效果,提出了锚索预拉应力最佳值。在综合分析以上各因素的基础上,筛选出防治工程效果的 11 项后评价因子,建立了防治工程效果的模糊综合评判模型,初步提出了一套比较完善的后评价方法,为滑坡防治标准的确立提供了参考。

四、元磨高速公路边坡治理研究成果

云南元磨高速公路(以下简称元磨公路),是一条滑坡成群的路段,在仅 147km 长的路段上,集中了 30m 以上的高边坡 371 处。为治理边坡病害,保证日后公路安全,针对元磨公路边坡病害实际状况专门成立研究组织,对边坡病害进行专题研究。

在研究过程中,一方面收集元磨公路的勘测、设计、施工、监测资料,并广泛汇集前人和当代国内外有关经验和研究成果;同时,积极运用现代科学技术理论和研究设备,对边坡病害进行理论分析、室内模拟试验和现场检验等手段进行了全方位的研究。

1. 边坡病害治理研究方法

(1)在研究水岩相互作用机理与渗流场耦合理论的基础上,研究了强降雨条件下边坡治理工程效果,观测各种工况下边坡稳定性变化情况。

(2)在研究边坡变形破坏过程中,使用有限元极限分析法和边坡岩土体抗剪强度参数反演计算研究的基础上,对边(滑)坡工程的监测和预报进行了研究,并结合工程实例进行了分析。

(3)模拟边坡降雨入渗过程的饱和、非饱和渗流场数值方法,将水岩相互作用机理与耦合分析理论,以及降雨入渗条件下的边坡稳定性分析理论,应用到元磨公路几个典型的边坡稳定性中去,对支护结构的效果进行评价,为同类边坡稳定性分析及治理工程稳定效果评价提供了主要参考依据。

(4)运用交变量求导法(CVDM)对岩土抗剪强度参数进行反分析计算,提出的边坡变形破坏全过程预警评价方法与标准,为滑坡预测预警提供了全新的思维模式。

(5)结合元磨公路边坡病害情况,开发了数据采集、传输和接收系统,基于 Internet 网络的 B/S 结构的中央监控系统,可通过 IE 浏览器直接在 Internet 网络上查看传感器数据,方便各研究单位及个人采集数据。

(6)根据采集到边坡病害治理措施数据,编制出了计算机动态监测与管理系统软件各功能模块,进而编制了元磨公路边坡病害治理工程效果评价系统软件。

上述研究过程如图 1-1 所示,其研究成果为制订边坡病害治理评价标准和制订应对措施奠定了坚实的基础。

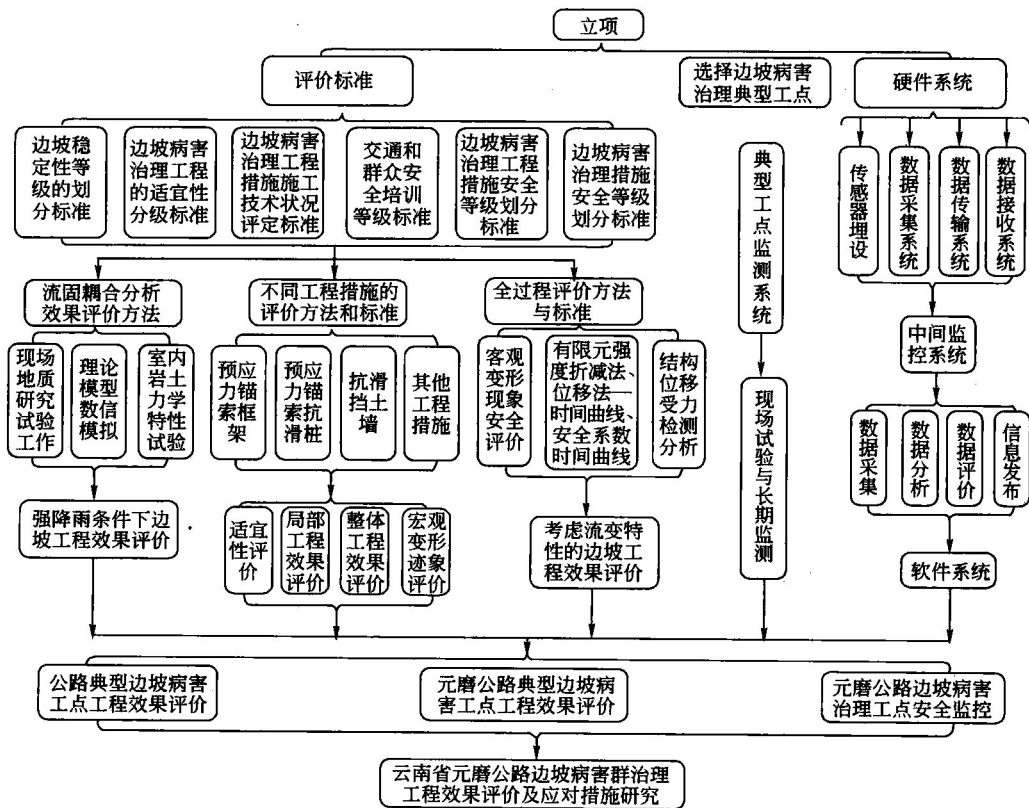


图 1-1 元磨公路边坡病害治理工程措施评价及应对措施研究过程示意图

2. 边坡治理研究成果

云南元磨高速公路建设指挥部、铁道部科学研究院、云南省公路规划勘察设计院、西南交通大学、清华大学、解放军后勤工程学院、云南大学通力合作,共同承担本项目的研究工作,从2003年5月至2007年12月,历时4年,以元磨公路为依托,通过调查分析、现场试验、动态监测、理论分析,系统开发,取得了以下创新性科技研究成果。

(1) 首次按岩性划分边坡岩体结构

根据影响边坡稳定的主要因素,按照边坡岩性不同,在边坡治理工程中,元磨公路第一次按岩性将边坡岩体结构划分为沉积岩(红层)、岩浆岩、变质岩边坡,以便于有针对性研究边坡病害治理。

(2) 首次将流固耦合等理论用于研究边坡水岩相互作用机理

在边坡病害治理工程中,根据元磨公路边坡地质特征,使用流固耦合理论,对边坡降雨入渗过程的饱和、非饱和渗流场进行数值分析,模拟水岩相互作用机理,用于分析降雨入渗条件下边坡的稳定性,并根据模拟分析结果,用于评价元磨公路典型边坡稳定性和病害治理效果。

同时,在研究过程中,考虑岩土材料流变性的有限元强度折减中,引入了神经网络和遗传算法,实现了由现场实测位移反算岩土流变参数的方法,首次提出了基于交变量求导法(CVDM)的岩土抗剪强度参数反分析算法,提出了边(滑)坡变形破坏全过程预警评价方法与标准,为滑坡预测预警提供了有效途径和方法。

(3) 推出边坡病害治理效果评价标准和方法

通过边坡稳定性理论分析,结合元磨公路边坡治理工程实践,推出一套行之有效的,定性的、定量的、半定量的、局部和整体性的边坡病害治理效果评价标准和方法,用于对预应力锚索框架、预应力锚索抗滑桩、锚杆框架、抗滑桩、重力式抗滑挡土墙等工程措施的效果作出评价,收到良好的效果。

(4) 开发边坡监控管理系统,推出边坡安全预警评价标准

元磨公路沿线边坡地质复杂,为保证车辆安全运行,利用了GIS管理平台,开发了边坡病害治理工程的监控评价管理系统,实现了监测信息自动实时采集、无线传输、中央接收、自动评价与决策,提高了管理水平。

在这个监控评价管理系统中,建立了元磨高速公路180多个工点的基础信息(勘察设计、监测、养护)数据库,并可随时监测。这些内容包括:边坡治理工程病害整治措施、预警报警对策、交通运输管制对策、群众安全管制对策。

在中央监控中心,或通过IE浏览器直接在Internet网络上查询基础信息和监控信息,并借助于软件系统,可对监控工点的工程效果进行评价。

上述研究成果,系集工程地质学、岩石力学、岩体力学、土力学、土木工程学、计算机科学与技术、通信技术等多学科于一体,应用最新研究理论,密切结合依托工程的实践,并又经过四年多公路运营检验证明是可行的。

笔者认为:这些研究成果,对于指导公路边坡病害治理,提供了科学的方法和途径;对于评价边坡治理措施工作状况,提供了第一手资料,为制订公路养护制度和标准奠定了基础;对于维护交通安全,保护人民生命安全,发布安全预警,提供了可靠的依据,为提升我国地质灾害防治水平发挥了重要作用。

第二章 公路边坡岩体结构和破坏模式

通过对公路、铁路路堑已发生边坡病害的现场调查,结合云南元磨公路等有关工程的实践,经过统计、分析、归纳、整理,本书将边坡病害基本上可以归纳为崩塌、滑坡、错落和坍塌等四种类型(图 2-1)。其不同类型的病害,虽然影响因素基本相同,但破坏特征却大相径庭。

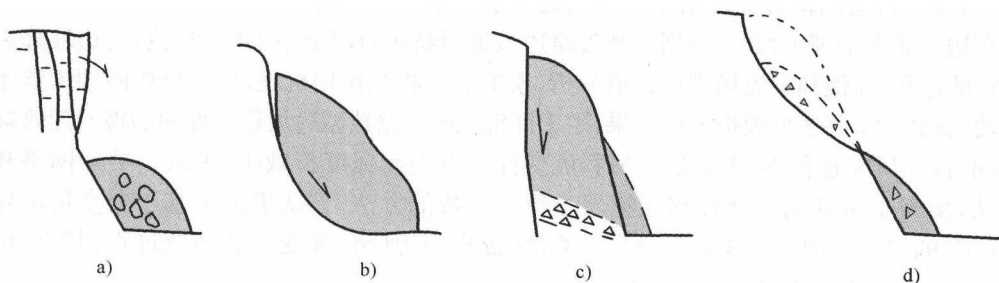


图 2-1 公路边坡破坏断面形式
a)崩塌;b)滑坡;c)错落;d)坍塌

第一节 边坡崩塌病害

所谓边坡崩塌病害,通常是指:大量的岩土从高的陡斜坡上,以垂直的、高速的方式向下崩落,一旦碰撞到地面,便发生翻滚、跳跃,完整岩体顿时破碎成碎石,成堆状形状,堆落在边坡下面。

高边坡发生崩塌病害,是因为处于高处的岩土,在重力作用下,或坡脚受到切割产生不平衡力,岩土前后缘先是出现拉张裂缝,逐步发生倾斜、滑移,岩土被拉裂、剪切、压缩,一旦突然遇到振动、劈力等助动力作用时,须臾间发生崩塌。

一、边坡崩塌破坏分类

边坡崩塌病害,虽然有规模大小不同,有崩塌方式不同,但所形成崩塌病害的机理却有相同的规律。这些规律与岩土的物质组成、岩体结构、导致病害发生因素密切相关。

按照边坡崩塌病害破坏方式,大致可归纳为倾倒式崩塌、滑移式崩塌、鼓胀式崩塌、拉裂式崩塌、错断式崩塌等五种。反过来说,不同的崩塌破坏方式,反映出崩塌病害方式所对应的地形地貌、岩土的岩性结构特征、发生病害的因素各有自己的特性。

1. 倾倒式崩塌

从地形地貌来说,倾倒式崩塌病害,多发生在路线经过的峡谷、直立岸坡、悬崖路段。其岩性特征多为黄土、石灰岩及其他直立岩层;岩土结构多为垂直或柱状节理,直立岩层面,崩

塌体也多为板状、长柱状,一旦受到倾覆力矩作用时,就会产生这种形式的倾覆式崩塌病害。对这类处于平衡状态的岩土,在一定的条件下极易产生倾覆力矩,当作用的力矩足以使岩体发生倾斜时,从而导致发生这类病害(图 2-2)。

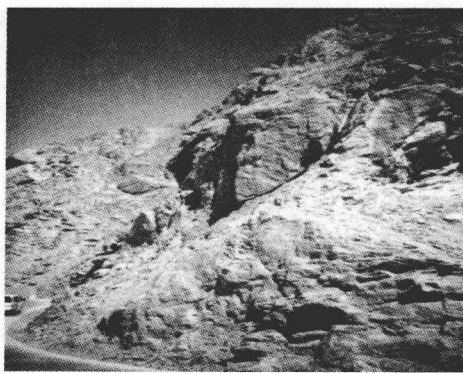


图 2-2 边坡崩塌破坏实况

倾覆式崩塌病害,常发生在河流峡谷、岩溶区、冲沟地段及其他陡坡上,常见巨大而直立的岩体,以垂直节理或裂缝与稳定岩体分开(图 2-3)。这类岩体特点:高而窄,横向稳定性差,失稳时岩体以坡角的某一点为转点,发生转动性倾倒。产生这种崩坍原因如下:

(1)在河流长期冲刷淘蚀作用下,使直立岩体坡脚产生偏压,于是直立的岩体逐渐发生倾侧蠕变,最后导致倾覆式崩塌。

(2)这种类型的边坡岩体,当受到附加特殊水平力(地震力、静水压力、动水压力、冻胀力和根劈力等)时,岩体可倾侧破坏。

(3)当坡脚由软岩组成时,渗入地层中的雨水软化了坡脚软岩体,导致上部岩体产生偏压,引起这类崩塌。

(4)直立岩体在长期重力作用下,产生弯折也能导致发生这类崩塌。

2. 滑移式崩塌

在某些陡坡上,通常坡度大于 45° ,岩体结构多为软硬相间的岩层,如石灰岩夹薄层页岩,且下部常有向下倾斜的光滑结构面或软弱面,有倾向临空的结构面(可能是平面、楔形或弧形),其形式如图 2-4 所示。这种不稳定的岩体,一旦受到剪切力作用就会产生滑移,岩体重心一经滑出陡坡,就会产生突然崩塌。产生这类崩塌的原因,除重力外,连续大雨渗入岩体裂缝,产生静水压和动水压力,以及雨水软化软弱面,从而诱使岩体滑移。在某些条件下,地震也可能引起这类崩塌。其崩塌可能组合成各种形状,如板状、楔形、圆柱状等。

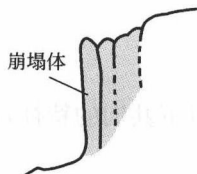


图 2-3 倾覆一崩塌

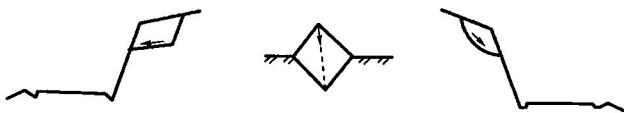


图 2-4 滑移一崩塌

3. 鼓胀式崩塌

在陡坡上的岩体之下,若有较厚的软弱岩层时,或岩体本身就是松软岩层,而且还有长大节理把不稳定岩体和稳定岩体分开,在遇有连续大雨或有地下水补给的情况下,下部较厚的软弱层被软化。上部岩体在重力作用下,当压应力超过软岩天然状态下的无限制抗压强度时,它就被挤出、向外鼓胀,并且不断发展,不稳定岩体随之逐步下沉和外移、发生倾斜,一旦重心移出坡外,崩塌即会产生(图 2-5a)。因此,下部较厚的软弱岩层能否向外鼓胀,这是该类崩塌能否产生的关键。一般直立的黄土、黏土或坚硬岩石下有较厚